

UDK: 629.551;631.565

DEFLEKSIONI OTPORI POGONSKIH PNEUMATIKA POLJOPRIVREDNIH TRAKTORA I NJIHOV UTICAJ NA VUČU NA TVRDIM I SABIJENIM PODLOGAMA

Vladimir Muzikravić

*FTN - Institut za mehanizaciju i konstrukciono mašinstvo, Novi Sad,
mooz@uns.ns.ac.yu*

Sadržaj: U radu se utvrđuje uolikoj meri korišćenje pogonskih pneumatika poljoprivrednog traktora sa manjim otporima kotrljanja može da dovede do poboljšanja pokazatelja vuče. Prvenstveno se razmatra defleksioni otpor, komponenta otpora kotrljanja koja je direktno uslovljena konstrukcijom pneumatika i koju je relativno lako izmeriti.

Eksperimentalnim putem su određeni defleksioni otpori pneumatika dva proizvođača, te je numeričkom analizom utvrđen njihov uticaj na pokazatelje vuče traktora. Dobijeni rezultati su ukazali na značajne razlike ovih otpora, te da je izbor pneumatika traktora pretežno namenjenih za kretanje po tvrdim podlogama moguće svesti na izbor pneumatika sa najmanjim defleksionim otporima. Ovo se može smatrati naročito značajnim u našim uslovima gde je eksploatacija poljoprivrednog traktora u velikoj meri vezana za korišćenje traktora za transport po tvrdoj ili sabijenoj podlozi.

Ključne reči: *otpor kotrljanja, defleksija, pneumatik, vuča.*

UVOD

Otpor kretanja elastičnog točka po deformabilnoj podlozi sastoji se od otpora koji su posledica deformisanja i podloge i pneumatika.

Kao otpori podloge najizraženiji su oni vezani za vertikalnu deformaciju - sabijanje podloge, horizontalnu deformaciju – potiskivanje čestica zemlje ispred točka, kao i povlačenje čestica zemlje pri kretanju po vlažnoj koherentnoj podlozi.

Pri kretanju elastičnog točka javlja se i otpor nastao stalnim deformisanjem gazećeg sloja i bokova pneumatika /13/. Bez obzira da li je točak pogonski ili nepogonski, otpor nastao usled njegovog deformisanja će biti identičan za iste uslove kretanja /9/. Što je podloga tvrđa, uticaj ovog otpora na ukupni otpor kretanju postaje značajniji, da bi na čvrstim podlogama ovo postao praktično jedini otpor kotrljanju točka. Literaturnih

podataka o vrednostima otpora nastalih deformisanjem traktorskih pneumatika prilikom njihovog kotrljanja je malo, a zbog kompleksnog uticaja konstrukcije pneumatika na ovaj otpor, za konkretan pneumatik tačno se mogu odrediti jedino eksperimentalnim putem /13/.

Energetski gubici nastali deformisanjem elastičnog točka posledica su, sa jedne strane makrodeformacija gazećeg sloja i bokova, a sa druge strane mikrodeformacija i trenja klizanja u zoni kontakta točka i podloge. Prilikom kotrljanja dolazi do permanentnog deformisanja dela pneumatika koji je u kontaktu sa podlogom. Nakon izlaska deformisanog dela pneumatika iz zone kontakta sa podlogom, dolazi do njegovog vraćanja u prvobitni oblik. Usled histereze materijala od kojeg je pneumatik sačinjen (pretežno guma), deo energije koji se angažuje na makro i mikrodeformacije pneumatika prilikom kotrljanja pretvara se u toplotne gubitke. Za pneumatike teretnih vozila /6/, ukupni gubici usled histereze su raspoređeni na sledeći način: 73% u zoni protektora, 12% u ramenom delu, 13% u zoni bokova i 2% u zoni pete. Literaturni podaci za raspodelu gubitaka u pojedinim zonama balona poljoprivrednih pneumatika nisu nađeni, ali se može pretpostaviti da je procenat gubitaka u zoni protektora veći zbog izraženog orebrenja gazećeg sloja.

Ukupan otpor kretanju točka po tvrdoj podlozi, posmatrano sa aspekta uticaja pojedinih činilaca na njegov nastanak, u najvećoj meri je posledica histerezisnih gubitaka koji čine 90-95 % otpora kretanju točka, 2-10% posledica je trenja između pneumatika i podloge, a 1.5-3.5% (ili manje zbog malih brzina kretanja traktora) posledica je otpora vazduha /10/.

Za deo otpora kotrljanja elastičnog točka nastao usled histereze po bilo kojoj podlozi usvojen je naziv defleksioni otpor. Promena defleksionog otpora u funkciji promene pritiska vazduha ima eksponencijalni karakter i može se izraziti putem sledećeg izraza /5/:

$$F_d = \frac{W \cdot u}{p_i^a} \quad \dots\dots\dots (1)$$

gde su: W - vertikalno opterećenje točka,
 p_i - pritisak vazduha u pneumatiku

$\frac{u}{p_i^a}$ - specifični defleksioni otpor

u, a – parametri jednačine koji zavise od krutosti pneumatika

Smanjenje bilo koje komponente otpora kretanja rezultiraće boljim vučnim pokazateljima traktora. Korišćenja unapred odabranih pneumatika kod kojih su defleksioni otpori najmanji može se smatrati jednostavnim načinom smanjenja ukupnih otpora kretanja.

S obzirom na veliki broj proizvođača poljoprivrednih pneumatika koji primenjuju različita konstrukciona rešenja i tehnologije proizvodnje za pneumatike istih dimenzija, koje su standardizovane, realno je očekivati i različite eksploatacione osobine pneumatika iste oznake a proizvedenih od strane različitih proizvođača. Od strane korisnika traktora, kao praktično jedine vidljive razlike između pneumatika različitih proizvođača, mogu eventualno biti varijacije dezena gazećeg sloja, koji su takođe standardizovani u zavisnosti od namene pneumatika.

Uticaj defleksionih otpora na vuču po tvrdim podlogama je nesumnjiv, s obzirom da predstavlja praktično jedini otpor kretanja pri jednoličnom kretanju traktora po horizontalnoj podlozi, ako se pretpostavi da je otpor vazduha zanemarljiv zbog malih brzina kretanja. O tome koliki je kvantitativni uticaj ovih otpora na vučne pokazatelje traktora ne postoje literaturni podaci. Poznavanje ovog uticaja i smanjivanje ovih otpora moglo bi da bude korisno u slučajevima kada se traktor koristi pri transportu na tvrdim podlogama, pošto minimalni pritisci vazduha (koji se koriste pri vuči na poljoprivrednim podlogama) dozvoljavaju i kretanje po tvrdim podlogama pri brzinama većim i od 30 km/h /12/, /7/, /8/.

Manji otpori kretanja, na svim podlogama sem tvrde i sabijene, ne znače automatski i realno veće vučne sile, s obzirom na to da manji defleksioni otpori mogu da ukažu i na kruće bokove te manju kontaktnu površinu između točka i podloge, koja opet, sa svoje strane, dovodi do manje vučne sile bez obzira što su otpori kotrljanja manji. Zato bi, pri poređenju defleksionih otpora dva različita pneumatika, trebalo uporediti i veličine njihovih kontaktnih površina. Ovde se polazi od toga da razmatrani pneumatici imaju približno jednake kontaktne površine.

MATERIJAL I METOD

Određivanje defleksionih otpora

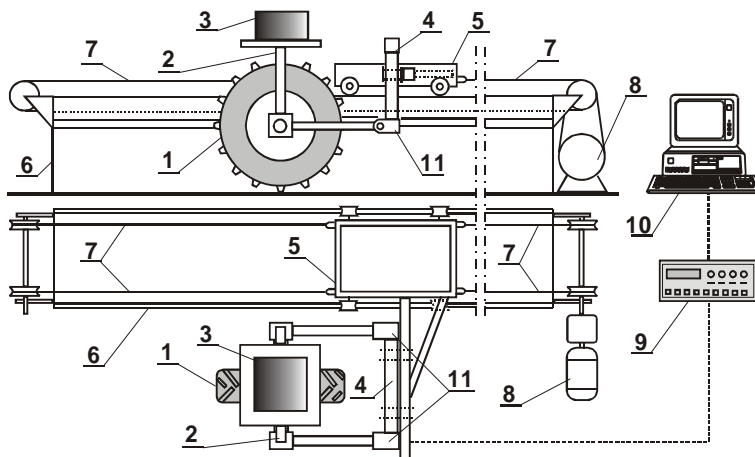
Određivanje defleksionih otpora vršeno je za dva radijalna pneumatika oznake 12.4-28 istog dezena gazećeg sloja (R1) a različitih proizvođača, tako što je merena sila povlačenja točka sa ispitivanim pneumaticima. Vrednosti sile povlačenja su merene pri različitim vertikalnim opterećenjima točka i različitim pritisecima vazduha u pneumaticu.

Merenje je obavljeno za vertikalna opterećenja od 500 i 750 daN, što su vrednosti koje obuhvataju dijapazon procenjenih realnih opterećenja koja mogu da se pojave pri vuči sa traktorom IMT 539 (minimalna vrednost od 480 daN je opterećenje pogonskog točka za traktor u mirovanju, a maksimalna vrednost 660 daN je vrednost koja odgovara usvojenoj dozvoljenoj preraspodeli osovinskih opterećenja 25%:75% pri vuči. Vrednosti pritiska vazduha p_i za koja je vršeno merenje bile su 0,6, 0,8, 1,0 i 1,2 bar-a.

Merno postrojenje i način merenja

Za određivanje defleksionih otpora korišćeno je merno postrojenje za ispitivanje pneumatika - kada sa pokretnim kolicima Instituta za mehanizaciju i konstrukciono mašinstvo u Novom Sadu (Sl. 1, pozicija 6). Povlačenje točkova sa ispitivanim pneumaticima (1), koji su se kretali po čvrstoj horizontalnoj podlozi pored same kade, vršeno je putem kolica (5), a merenje sile povlačenja vršeno je putem 2 dvokomponentna davača sile (11) traktorskog mernog rama, originalno namenjenog merenju sile vuče priključnih oruđa u trotačkastoj vezi /11/.

Točak sa ispitivanim pneumaticom (1) putem obrtne osovine bio je vezan za pomoćni ram (2), na koji je putem metalnih tegova (3) nanošeno vertikalno opterećenje. Pomoćni ram (2), preko mernog rama (4) bio je vezan za pokretna kolica (5), koja su se kretala po šinama kade (6). Vuča kolica po kadi vršena je putem lanca (7) koji je pogon dobijao od strane pogonske grupe sa elektromotorom i reduktorom (8).



Sl. 1. Ispitno postrojenje za merenje defleksionih otpora pneumatika

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. ispitivani pneumatik | 6. kada |
| 2. pomoćni ram | 7. lanac za vuču kolica |
| 3. teg za nanošenje vertikalnog opt. | 8. pogonska grupa (motor i reduktor) |
| 4. merni ram za merenje sile | 9. merno pojačalo HBM-UPM 60 |
| 5. pokretna kolica | 10. personalni računar |
| | 11. dvokomponentni davači sile |

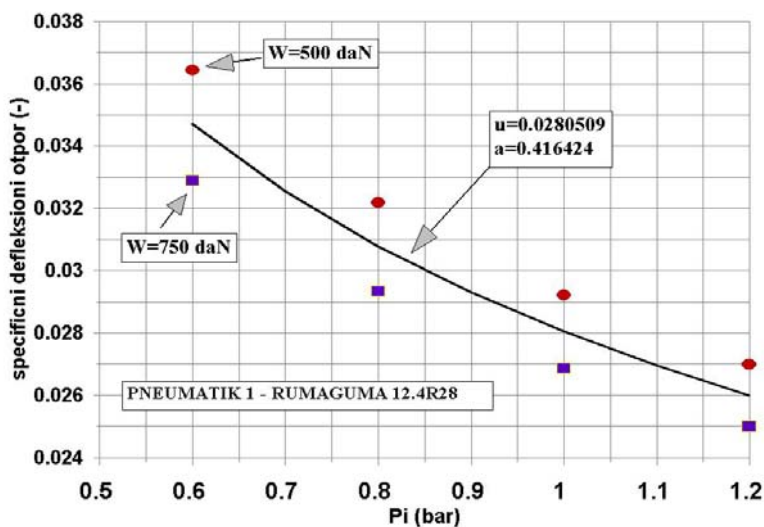
Povlačenjem kolica po kadi, vršeno je povlačenje ispitivanog točka zajedno sa pomoćnim ramom putem mernog rama. Pri ovome, točak se kretao paralelno sa kadom po podlozi brzinom od cca 20 cm/s na deonici dužine 10 m. Akvizicija izmerene horizontalne sile tokom kretanja točka, koja je predstavljala defleksioni otpor ispitivanog pneumatika, vršena je putem personalnog računara (10). Mogućnost merenja vertikalne sile putem simetrično postavljenih (u odnosu na ravan obrtanja točka) davača mernog rama iskorišćena je tokom podešavanja položaja teža (3), kako bi osa vertikalnog opterećenja prolazila kroz osu točka, te je tokom merenja onemogućeno eventualno nesimetrično opterećenje levog i desnog boka pneumatika. Biokularna konstrukcija korišćenih davača sile eliminisala je uticaj vertikalnog opterećenja na vrednost izmerene horizontalne sile /11/.

Proračun i analiza vuče rađena je numeričkim modelom prema ASAE D 497.4, ASAE S 296.4.

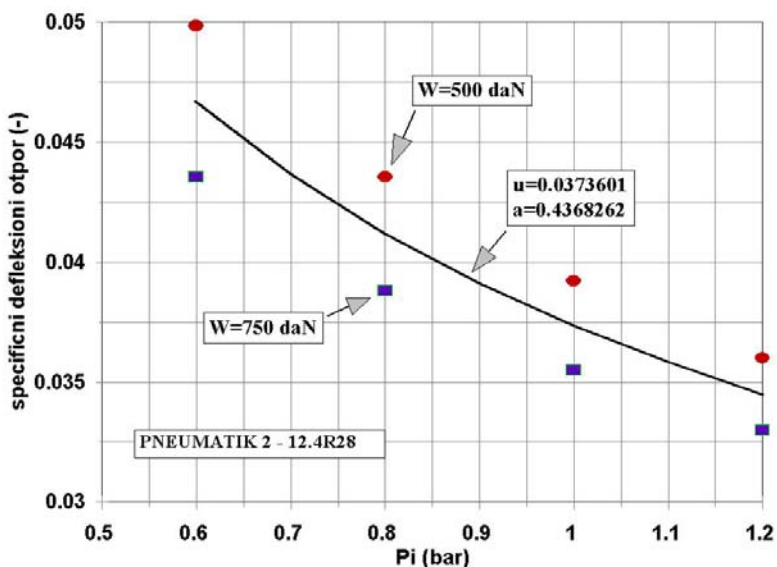
REZULTATI I DISKUSIJA REZULTATA

Defleksioni otpori pneumatika

Eksperimentalno određene vrednosti sila otpora kotrljanja na čvrstoj podlozi, tj. defleksionih otpora izraženih preko specifičnih defleksionih otpora prema izrazu (1) prikazane su na Sl. 2 i Sl. 3. Uočljivo je da su izmerene vrednosti defleksionih otpora pneumatika 2 znatno veće.



Sl. 2. Specifični defleksijski otpor pneumatika 1 za 2 opterećenja i interpolirana vrednost za izraz u/p_i^a



Sl. 3. Specifični defleksijski otpor pneumatika 2 za 2 opterećenja i interpolirana vrednost za izraz u/p_i^a

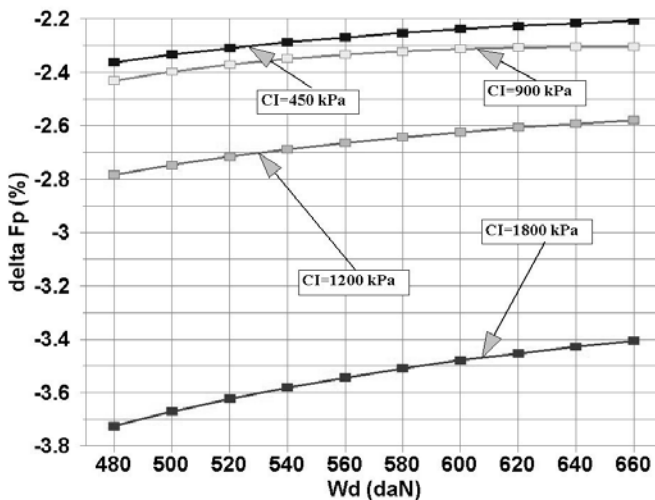
Eksperimentalno određeni defleksijski otpori pneumatika dva proizvođača su iskorišćeni za analizu njihovog uticaja na sile na poteznici i efikasnost vuče traktora IMT 539. Analiza je obavljena za standardne /4/ poljoprivredne podloge (CI=1200 kPa - sabijena, CI=900 kPa - uzorana, CI=450 kPa - meka) kao i za tvrdu podlogu (CI=1800 kPa), za osnovne parametre traktora i pneumatika date u Tab. 1.

Analiza vuče je vršena putem numeričkog modela vuče prema ASAE D497.4 /4/, /1/, za slučajeve preraspodele opterećenja pogonskog točka 480-660 daN, pri optimalnom klizanju /3/. Pošto su razmatrani pneumatici identični po dimenzijama i istog orebrenja, u proračunu su korišćene iste numeričke vrednosti dimenzija pneumatika proizvedenih od strane različitih proizvođača.

Tab. 1. Oznake i statičko opterećenje pneumatika (točkova) na traktoru

Pneumatik	Statičko opterećenje W_s (daN)	Nazivna širina B (cm)	Nazivni prečnik D (cm)
pogonski 12.4R28	480	31.5	125
upravljački 6.00-16	400	16.5	73.5

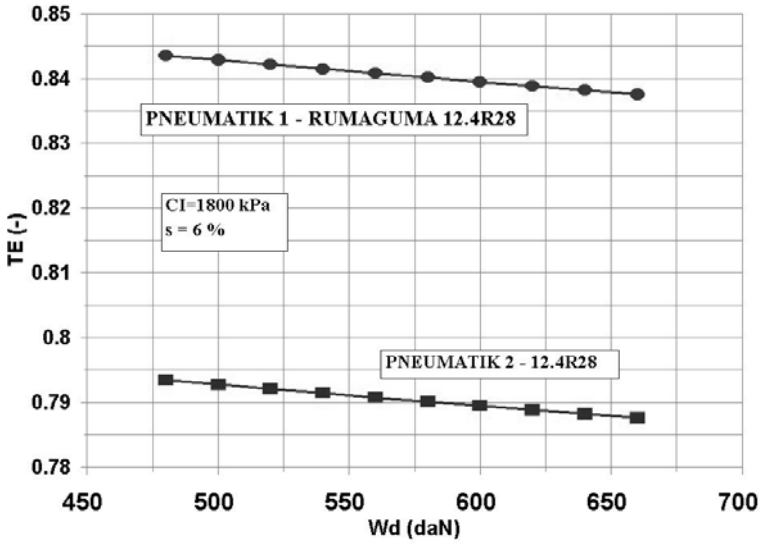
Očekivana vrednost sile na poteznici F_p koja bi se dobila korišćenjem pneumatika 2 umesto pneumatika 1 bila bi manja za 2.2-3.7% na različitim podlogama, što je prikazano na slici Sl.4. Uočljiv je porast ovog smanjenja sa rastom preraspodele opterećenja, tj. sa porastom vertikalnog dinamičkog opterećenja zadnjih točkova (W_d) pri većim vučnim silama, uz najveće smanjenje sile na poteznici na tvrdoj podlozi ($CI=1800$ kPa).



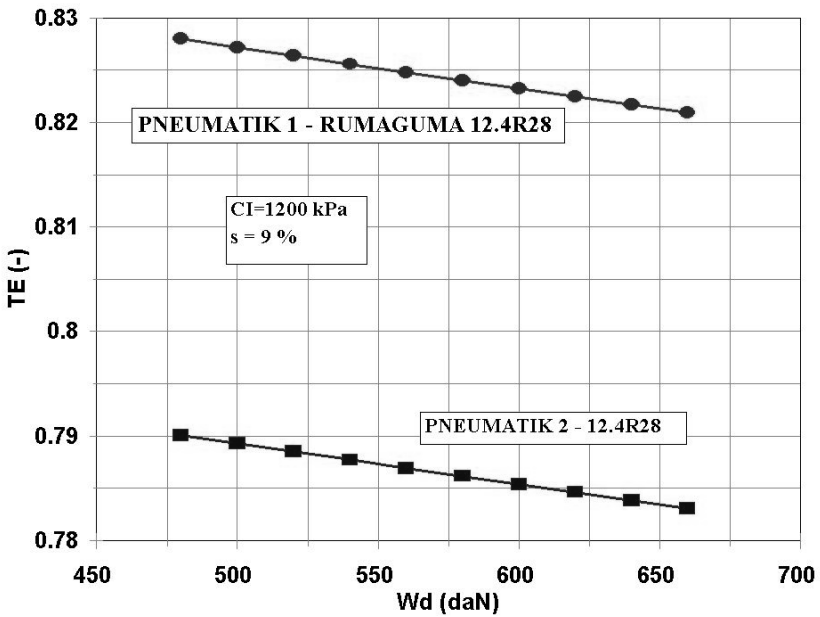
Sl. 4. Očekivano procentualno smanjenje sile na poteznici dobijeno korišćenjem pneumatika 2

Sa aspekta energetske efikasnosti vuče, koja je direktno proporcionalna potrošnji goriva, analiziran je uticaj defleksionih otpora razmatranih pneumatika putem poređenja njihove efikasnosti vuče na tvrdoj i sabijenoj podlozi. Pod efikasnošću vuče se podrazumeva odnos snage realizovane putem pogonskog točka i njemu dovedene snage, tj. izlazne i ulazne snage točka prema standardu ASAE S296.4 /2/.

Utvrđeno je da bi korišćenje radijalnog pneumatika 2 umesto radijalnog pneumatika 1 (Sl. 5 i Sl. 6) dovelo do smanjenja efikasnosti vuče razmatranog traktora za cca 6% na tvrdoj i 4.6% na sabijenoj podlozi.



Sl. 5. Efikasnost vuče za pneumatike sa različitim defleksionim otporom na tvrdoj podlozi pri optimalnom klizanju



Sl. 6. Efikasnost vuče za pneumatike sa različitim defleksionim otporom na sabijenoj podlozi pri optimalnom klizanju

ZAKLJUČAK

Neposrednom proverom, za dva pogonska pneumatika različitih proizvođača a iste oznake, utvrđene su znatne razlike njihovih otpora kotrljanja na tvrdoj podlozi. Osnovni zaključak bi se mogao generalizovati u smislu postojanja mogućnosti jednostavnog izbora pogonskih pneumatika poljoprivrednih traktora koji bi zbog manjih otpora kretanju doveli do povećanja vučnih sila i efikasnosti vuče. Kvantitativna vrednost povećanja efikasnosti vuče rasla bi sa povećanjem vertikalne nosivosti podloge i bila bi najveća na tvrdim podlogama. Povećanje efikasnosti vuče direktno bi dovelo do proporcionalnih ušteda u potrošnji goriva traktora. Ovo se može smatrati naročito značajnim u našim uslovima, gde je eksploatacija poljoprivrednih traktora u velikoj meri vezana za transport, pri čemu se traktori uglavnom kreću po tvrdoj podlozi.

Utvrđene razlike kvantiteta i kvaliteta vuče odnose se samo na dva ispitivanjem obuhvaćena pneumatika. Realno je očekivati da bi se u grupi većeg broja pneumatika istih dimenzija a različitih proizvođača izvesno iskazale i veće razlike razmatranih pokazatelja vuče.

LITERATURA

- [1] Al-Hamad, S.A., Grisso, R.D., Zoz, F.M., Von Bargen, K., 1994. Tractor Performance Spreadsheet for Radial Tires, Computers and Electronics in Agric., 10(1): 45-62.
- [2] ANSI/SAE S296.4 DEC95, General Terminology for Traction of Ag. Tractors, Self-Propelled Implements, and Traction and Transport devices.
- [3] ASAE 496.2DEC99 Agricultural Machinery Management.
- [4] ASAE 497.4 MAR99, Agricultural Machinery Management Data.
- [5] Bekker, M.G., 1969. Introduction to Terrian-Vehicle Systems, Ann Arbor, The University of Michigan Press.
- [6] Chiesa, A. and Tangorra, G., 1959. The Dynamic Stiffness of Tyres, Revue General de Caoutchoucs, vol. 36, No. 10, 1329-1339.
- [7] Continental Technical Databook – Agricultural Tyres, Continental Tyre Group Ltd, 2004-2005.
- [8] Goodyear Farm Tire Handbook, 2003.
- [9] Komandi, G., 1999. An Evaluation of the Concept of Rolling Resistance, Journal of Terramechanics, Volume 36, 159-166.
- [10] Pacejka, H., 1981. Analysis of Tire Properties, in: Mechanics of Pneumatic Tires, Ed. S. Clark, USA.
- [11] Ronai, Đ., Ličen, H., Muzikravić, V., Teleki, Z., 1988. Dvokomponentni merni ram za merenje vučnih otpora priključnih mašina, VI Internacionalni simpozijum "Poljoprivredno mašinstvo i nauka", Zbornik radova, Požarevac, 112-119.
- [12] Rumaguma, Katalog proizvodnog programa pneumatika, Ruma, 1989-1990.
- [13] Wong, J.Y., 1991. Theory of Ground Vehicles, New York: A.Willey - Interscience Publication.

**AGRICULTURAL TRACTOR'S TIRE RESISTANCE DUE
TO THE DEFLECTION AND IT'S INFLUENCE
ON TRACTION ON ROAD AND FIRM SOIL**

Vladimir Muzikravić

FTN - Novi Sad, mooz@uns.ns.ac.yu

Abstract: The paper discusses in what degree the usage of agricultural tractor tires with lower rolling resistance can benefit in traction. The component of the rolling resistance due to deflection that depends on tire design characteristics and that considerably easy can be measured is analyzed.

The resistance of tires due to the deflection, for tires made by different manufacturers, was determined experimentally. Using numerical traction model, influence of measured values on the tractor's tractive performance was analyzed. Obtained results show significant difference of deflection resistance for different tires and imply that tire selection for tractors mainly used for transport on road or firm soils can be based on selection of tires with lower rolling resistance. This can be significant for our practice where agricultural tractors are widely used for transport.

Key words: *rolling resistance, deflection, tire, traction.*